

них металоконструкцій у вигляді листів, проволочи, деталей типу анкерів, хомутів, а також конструкцій просторових покриттів будівель, які монтуються з окремих елементів із застосуванням болтів - структур, оболонки.

Таким чином, запропоноване покриття може надійно захищати сталеві конструкції від корозійного зносу за умови дії атмосфери та вологи, при цьому міцність металоконструкції може тільки підвищуватися.

1.Экилик В.В. Теория коррозии и защиты металлов / В. В Экилик. – Ростов на Дону: РГУ, 2004. – 67 с.

2.Гузій С.Р. Захист металоконструкцій антикорозійними геополімерними покриттями від дії мокрої атмосферної корозії / С.Р. Гудзій // Сучасні будівельні матеріали. – 2011. – 1(87). – С.187-189.

3.А.с. 1708941 СССР, МКИ C25Д/366. Способ электрохимического алюминирования [Текст] / Терногорова Н.В., Хараман И.П., Е.Н.Симонов (СССР). – 4741097/02; заявл. 15.08.89; опубл. 30.01.92, Бюл. №4. – 4 с.

Отримано 25.04.2012

УДК 624.042.8

А.В.БАНАХ, канд. техн. наук, А.А.ТАРАСИК  
Запорожская государственная инженерная академия

## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ТРАНСПОРТА НА РЕКОНСТРУИРУЕМЫЕ ЗДАНИЯ

Проанализированы параметры динамических действий от транспорта и причины, которые усиливают их негативное влияние на эксплуатируемые здания. Приведен пример моделирования динамических действий на здания, расположенные вблизи транспортных магистралей, и результаты численных исследований их колебаний при различных вариантах моделирования взаимодействия с основанием при динамических воздействиях на основе метода конечных элементов. Представлен анализ зависимостей динамических параметров зданий от способа моделирования их взаимодействия с основанием.

Проаналізовано параметри динамічних дій від транспорту і причини, які посилюють їх негативний вплив на експлуатовані будівлі. Наведено приклад моделювання динамічних дій на будівлі, розташовані поблизу транспортних магістралей, і результати чисельних досліджень їхніх коливань при різних варіантах моделювання взаємодії з основою при динамічних діях на основі методу кінцевих елементів. Представлено аналіз залежностей динамічних параметрів будівель від способу моделювання їх взаємодії з основою.

The parameters of dynamic effects from transport and causes, increasing their negative influence on exploiting buildings, are analyzed. The example of modeling of the dynamic effects on building, located near-by transport highways, and results of numeral researches of their vibrations at the different models of co-operating of building with foundation under dynamic influences with finite elements method are shown. The analysis of dependences of dynamic parameters of building from the method of modeling of co-operating of buildings with their foundations is presented.

**Ключевые слова:** динамические воздействия на здания, транспортные коммуникации, эксплуатируемые здания, реконструкция, метод конечных элементов, модели взаимодействия здания с грунтовыми основаниями.

Транспортные воздействия, передаваемые через дорожное покрытие, характеризуются горизонтальным динамическим воздействием, которое можно представить как детерминированный колебательный процесс периодического действия. При исследовании передачи таких процессов через грунтовые основания с использованием конечноэлементных моделей появляется возможность проверки их адекватности по результатам динамической диагностики. Таким образом, возможна корректировка расчетных моделей взаимодействия зданий с основаниями для достижения соответствия динамической реакции модели и реального объекта, и последующее ее исследование на предмет достижения конструкциями предельных состояний, аварийных ситуаций, определения остаточного эксплуатационного ресурса.

Транспортные динамические воздействия, передаваемые через дорожное покрытие, необходимо исследовать с точки зрения влияния на показатели прочности и комфортности зданий, эксплуатируемых продолжительное время, так как они наиболее уязвимы даже при небольшой интенсивности воздействий.

Для определения наиболее достоверного способа передачи на здания динамических воздействий от транспорта через грунтовые основания и их влияния на показатели прочности и комфортности, необходимо провести численные исследования различных вариантов расчетных моделей.

Цель исследования – выяснить зависимость параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) зданий, эксплуатируемых длительное время при транспортных воздействиях, от способа учета их взаимодействия с грунтовыми основаниями в конечноэлементных расчетных моделях.

Обычно вибрация распространяется как в грунте, так и в строительных конструкциях, с относительно малым затуханием. Поэтому для количественного анализа динамических воздействий на здания в первую очередь необходимо применять обоснованные расчетные модели, учитывающие как конструктивные особенности здания, так и особенности передачи динамических воздействий на его конструкции [1-6].

В качестве объекта моделирования передачи через грунт динамических воздействий, рассмотрим жилое здание в г. Запорожье по адресу: пр. Ленина, 185, расположенное вблизи оживленной транспортной магистрали. Жилой 5-этажный дом построен в 1936-1937 гг. Здание относится ко II группе капитальности с нормативным сроком эксплуатации 125 лет. Здание имеет Г-образную конфигурацию в плане, с размерами: длина – 53,8 и 45,6 м, ширина – 15,2 и 13,8 м соответственно. В здании имеется подвал глубиной 3,2-3,4 м. Деформационные швы и другие конст-

руктивные защитные мероприятия от воздействия неравномерных осадок основания отсутствуют. Капитальный ремонт не производился. Проектная документация отсутствует.

Конструктивная схема здания состоит из несущих продольных и поперечных стен, включая несущие кирпичные столбы. Стены – кирпичные из глиняного обожженного кирпича, толщина стен 510 мм. Фундаменты под несущие стены ленточные из бутового камня на растворе, толщиной 1,2 м. Междуэтажные перекрытия – монолитные железобетонные, сборные и деревянные по балкам из железнодорожных рельс и прогонам из двутавров 20-24. В подвале главные балки из монолитного бетона В15. Перегородки – кирпичные из шлаковых плит толщиной 8 см и деревянные щитовые. В уровне перекрытий 3 и 4 этажей наружные стены соединены тяжами из стержней  $\varnothing 25$  мм по стенам лестничных клеток, ранее имевшим вертикальные трещины.

Развитие неравномерных осадок основания обусловили необходимость обследования здания и оценки состояния его конструкций, определения причин развития деформаций, а также оценку динамических воздействий, передающихся через грунтовое основание на здание от транспорта, движущегося по проспекту Ленина – центральной магистрали г. Запорожья.

Основанием здания являются суглинки лессовые естественного сложения, полутвердой консистенции. Специальной подготовки основания не выполнялось. Причиной деформаций здания является проявление просадочных свойств грунтов основания по причине их замачивания из водонесущих коммуникаций. Динамические воздействия от транспорта способствовали развитию деформаций.

Хотя фактическое минимальное расстояние от здания до транспортной магистрали составляет 15 м, учитывая особенности данного объекта, возникла необходимость проверки уровня колебаний фундаментов, при котором динамические воздействия не вызовут дополнительных деформаций.

Для исследования влияния динамических воздействий на эксплуатационные качества здания были проведены измерения уровня колебаний здания в наиболее опасных (ослабленных оконными проемами) точках. Задача виброметрических измерений состояла в инструментальном определении частоты и амплитуды смещения несущих стен обследуемых зданий с последующим вычислением скорости и ускорения колебаний, и сопоставлении этих величин с нормативными значениями ВСН 490-87 «Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки» и соответствующих санитарных норм [7].

Для решения этой задачи был использован виброметрический комплекс: датчики И001 в комплекте с самописцем уровня ЭК ИТ-04 для регистрации смещений в диапазоне частот 2-30 Гц. Для оперативной оценки уровня колебаний, настройки комплекса и уточнения мест расстановки датчиков использовался также электронный цифровой виброметр БИП-7. Были проведены измерения вертикальных и горизонтальных колебаний здания при прохождении трамвайных поездов и автомобильного транспорта по магистрали. Вибродатчики устанавливались в оконных проемах помещений третьего этажа и ориентировались для восприятия вертикальных и горизонтальных колебаний.

При движении трамвайных поездов и автотранспорта зафиксированы следующие максимальные величины колебаний:

- вертикальных:  $f = 11$  Гц;  $A = 4,5$  мкм;  $v = 0,312$  мм/с;  $a = 21,2$  мм/с<sup>2</sup>;
- горизонтальных:  $f = 13$  Гц;  $A = 4,1$  мкм;  $v = 0,335$  мм/с;  $a = 27,3$  мм/с<sup>2</sup>.

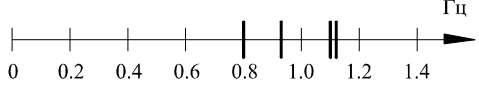
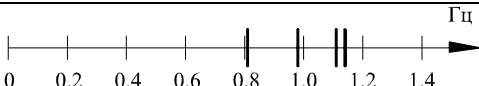
В соответствии с табл.2 [1], для бескаркасных зданий с несущими стенами и III группой грунтов оснований, допустимое ускорение вертикальных колебаний фундаментов, при котором не происходят дополнительные деформации оснований, составляет 150 мм/с<sup>2</sup>, что значительно больше, чем фактически замеренные значения.

Для моделирования этих воздействий с учетом их передачи через грунт воспользуемся конечноэлементным подходом, реализованном в программном комплексе LIRA-Windows. В качестве вариантов для сопоставления воспользуемся приложением динамических воздействий к пространственной модели здания в точках их непосредственного замера (вариант 1), и передачей воздействий от транспортной магистрали через грунтовое основание, смоделированное объемными конечными элементами (вариант 2).

Целью численного эксперимента являлось сопоставление динамических характеристик моделей и параметров их НДС для количественной и качественной оценки возможности применения в инженерных динамических расчетах. В качестве динамических воздействий для варианта 1 приняты динамические реакции от движения транспорта, измеренные непосредственно на конструкциях здания. Для модели варианта 2 приняты транспортные воздействия в виде горизонтальных гармонических периодических колебаний.

Численные значения динамических характеристик для каждого из вариантов приведены в табл.1. При сопоставлении динамических характеристик использовались величины отклонений от значений, полученных при проведении обследования и приведенных к уровню контакта поверхности тротуарного покрытия с цокольной частью здания.

Таблица 1 – Динамические характеристики вариантов моделей при передаче динамических воздействий через грунтовые основания

Вариант	Частотный спектр колебаний, Гц	Формы собственных колебаний			
		1	2	3	4
1		0,804	0,929	1,101	1,121
2		0,806	0,937	1,102	1,129

Анализ результатов расчета показал, что отклонение параметров собственных колебаний для использованных моделей не превышает 1%, следовательно, передача динамических воздействий через грунтовое основание смоделировано корректно.

Для получения параметров динамических реакций здания на воздействия, передаваемые через грунт, воспользуемся возможностью прямого интегрирования уравнений движения, предоставленную ПК LIRA-Windows в программном модуле «Динамика-плюс», для расчета динамических процессов во времени.

Данные по динамическим характеристикам в контрольных точках здания (простенок третьего этажа) по результатам натурных замеров приведены в табл.2, результаты расчетов для характерных узлов здания – в табл.3.

При расчете динамики во временной области учитывается деформированная схема здания, что позволяет учесть деформации, вызванные просадкой грунта.

Таблица 2 – Динамические характеристики в контрольных точках здания по результатам натурных замеров

Воздействия	Колебания	Динамические параметры			
		частота, Гц	перемещения, мкм	скорость, мм/с	ускорение, мм/с <sup>2</sup>
Транспорт	Вертикальные	11,0	4,50	0,312	21,20
	Горизонтальные	13,0	4,10	0,335	27,30

Таблица 3 – Динамические характеристики вариантов моделей при передаче динамических воздействий через грунтовые основания

Воздействия	Колебания	Динамические параметры			
		частота, Гц	перемещения, мкм	скорость, мм/с	ускорение, мм/с <sup>2</sup>
Транспорт	Вертикальные	11,0	4,72	0,323	21,53
	Горизонтальные	13,0	4,26	0,343	26,57

Анализ результатов расчета и их сопоставление с результатами натурных замеров позволяют сделать вывод о близости динамических характеристик при учете грунтового массива как средства передачи воздействий. Отклонения параметров составляют 3,8-7,3% для амплитуд, 2,3-10,2% – для скоростей и 1,5-7,3% – для ускорений.

*Выводы*

1. Расчеты по варианту 1 можно рекомендовать при наличии данных прямых замеров параметров динамических воздействий, поскольку процедура составления расчетной модели упрощается и отпадает необходимость моделирования основания, которое может быть учтено введением односторонних связей в узлы контакта модели здания с основанием.

2. Расчеты по варианту 2 дают минимальную погрешность параметров динамических воздействий (от 7,3% для амплитуд и ускорений до 10,2% для скоростей) при сопоставлении с фактически замеренными, однако модель получается громоздкая за счет моделирования основания.

1. Динамический расчет зданий и сооружений: справочник проектировщика / [М.Ф. Барштейн, В.А. Ильичев, Б.Г. Корнев и др.]; под ред. Б.Г. Корнева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.

2. Антоновская Г.Н. Экспериментальная оценка динамических воздействий от техногенных источников вибрации на сооружения / Г.Н. Антоновская, Н.К. Капустян, И.М. Басакина // Будівельні конструкції. – К.: ДП НДІБК, 2010. – Вип.73. – С.655-660.

3. Ковальчук О.А., Дашевский М.А. Особенности динамической реакции здания повышенной этажности на вибрации, возбуждаемые движением поездов метрополитена // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 4. – С.24-25.

4. Казакевич М.И. Актуальные проблемы динамики сооружений / М. И. Казакевич, В. В. Кулябко // Металеві конструкції. – 1998. – Т. 1, № 1. – С.65-74.

5. Казакевич М.И. Введение в виброэкологию зданий и сооружений / М.И. Казакевич, В.В. Кулябко. – Днепропетровск: ПГАСА, 1996. – 200 с.

6. Экспериментальная динамика сооружений: мониторинг транспортной вибрации / Е.К. Борисов, С.Г. Алимов, А.Г. Усов и др. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2007. – 128 с.

7. СанПиН 1304-75. Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах. – М.: Минздрав, 1975. – 9 с.

*Получено 11.04.2012*